

Klausur zur Vorlesung
Physikalische Chemie 1 –

Bearbeitung: Freitag, 22.02.2021 16:00 bis 18:00
Upload: 18:00-18:15

Aufgabe	1	2	3	4	6	7	8	9	10	Σ
maximale Punktzahl	11	14	14	11	8	12	8	10	12	100

Bitte beachten Sie:

- ✓ Für jede Aufgabe gesondertes Blatt benutzen.
- ✓ Jedes Blatt mit Namen und Matrikelnummer versehen.
- ✓ Der Lösungsweg muss klar ersichtlich und ggf. mit Einheiten versehen sein.
- ✓ Vereinfachen Sie Ihre Resultate soweit wie möglich.
- ✓ Es gibt keine Aufgabe 5

Wichtige Naturkonstanten/Daten:

$$\begin{array}{llll}
 R \approx 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} & k_B \approx 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1} & 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} & M_{\text{He}} = 4 \text{ g/mol} \\
 N_A \approx 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} & F \approx 96485 \text{ C mol}^{-1} & 1 \text{ u} = 1,661 \cdot 10^{-27} \text{ kg} & 1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m} \\
 m_o = 16 \text{ g/mol} & m_N = 14 \text{ g/mol} & &
 \end{array}$$

Viel Erfolg!

Aufgabe 1 (11 Punkte)

In einem Bombenkalorimeter werden 1 g Isopropanol ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$, flüssig, $M=58 \text{ g/mol}$) verbrannt, wobei man einen Temperaturanstieg von 1,722 K bei einer mittleren Temperatur von 298 K beobachtet. In einem zweiten Experiment werden im gleichen Kalorimeter 1,00 g Benzoesäure ($\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2$, flüssig, $M=122 \text{ g/mol}$) verbrannt. Hierbei steigt die Temperatur von 24,171 °C auf 25,503°C. Die Standardverbrennungsenthalpie $\Delta_c U^0$ bei 298 K von Benzoesäure wurde in einem früheren Experiment bestimmt und beträgt -3251 kJ/mol. Weiterhin sind folgende Standardbildungsenthalpien $\Delta_f H^0$ gegeben:

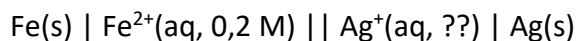
$$\Delta_f H^0 (\text{CO}_2, \text{gasförmig}) = -393,5 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta_f H^0 (\text{H}_2\text{O}, \text{flüssig}) = -285,5 \text{ kJ/mol}$$

- Bestimmen Sie aus der Verbrennung der Benzoesäure die Wärmekapazität des Kalorimeters.
- Stellen Sie die Reaktionsgleichung für die Verbrennung von Isopropanol auf. Markieren Sie gasförmige und flüssige Komponenten.
- Berechnen Sie die molare Verbrennungsenthalpie $\Delta_c H^0$ von Isopropanol.
- Bestimmen Sie außerdem die molare Standardbildungsenthalpie $\Delta_f H^0$ von Isopropanol.

Aufgabe 2 (14 Punkte)

Betrachten Sie folgende elektrochemische Zelle:



Die Standardhalbzellenpotentiale betragen $E_{00}(\text{Fe}/\text{Fe}^{2+}) = -0,41 \text{ V}$ und $E_{00}(\text{Ag}/\text{Ag}^+) = 0,80 \text{ V}$. Die EMK der Zelle ist 0,58 V. Die Aktivitätskoeffizienten seien eins. $T=298 \text{ K}$. Bitte beachten Sie die Vorzeichenkonventionen.

- Wie lauten die Halbzellenreaktionen und die Gesamtzellreaktion?
- In welche Richtung läuft die Zellreaktion bei Anschluss eines Verbrauchers ab?
- Berechnen Sie die Konzentration von Ag^+ und $\Delta_R G$ der Gesamtzellreaktion.
- Skizzieren sie eine mögliche Realisierung der Zelle im Labor

Aufgabe 3 (14 Punkte)

Betrachten Sie Methanol als van-der-Waals Gas mit den van-der-Waals Konstanten a und b:

$$a = 0,965 \frac{\text{Jm}^3}{\text{mol}^2}$$

$$b = 6,70 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{mol}}$$

- Skizzieren Sie das p-V-Zustandsdiagramm für Methanol und zeichnen Sie in dieses drei Isothermen bei den Temperaturen T_1, T_2, T_3 ($T_1 < T_2 = T_K < T_3$, T_K bezeichnet die Temperatur am kritischen Punkt) ein. Zeichnen Sie zusätzlich die Isotherme für ein Realgas bei T_1 ein.
- Skizzieren Sie das p-T-Zustandsdiagramm für Methanol und markieren Sie den kritischen Punkt und den Tripelpunkt und benennen Sie alle Phasen.
- Berechnen Sie ausgehend vom kritischen Punkt mit Hilfe der Verdampfungsenthalpie $\Delta_{\text{verd,m}}H = -37,6 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$ den Druck am Tripelpunkt ($T_{\text{Tripel}} = 175 \text{ K}$). Nehmen Sie dafür an, dass die Verdampfungsenthalpie im betrachteten Temperaturintervall konstant sei.
Betrachten Sie Methanol in dieser Teilaufgabe als ideales Gas.
($T_K = 513 \text{ K}$ und $p_K = 8,09 \cdot 10^6 \text{ Pa}$)
- Wie viele thermodynamische Freiheitsgrade besitzt das System an folgenden Stellen:
 - in der flüssigen Phase,
 - an der Phasengrenze zwischen flüssiger und gasförmiger Phase
 - am Tripelpunkt
- Schätzen sie das Volumen des Methanolmoleküls ab.

Aufgabe 4 (11 Punkte)

Der Viertakt-Ottomotor kann durch den folgenden reversiblen Kreisprozess mit vier Zustandsänderungen idealisiert dargestellt werden:

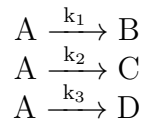
- Adiabatische Kompression des Gasgemisches von V_a nach V_b
- Druckanstieg von p_b nach p_c bei isochorer Erwärmung
- Adiabatische Expansion von V_b nach V_a
- Druckabfall von p_d nach p_a bei isochorer Abkühlung
 - Skizzieren Sie den Kreisprozess in einem p-V-Diagramm, beschriften Sie die Skizze vollständig.
 - Geben Sie die zur Berechnung von Arbeit und Wärme der einzelnen Prozessschritte notwendigen Formeln in Abhängigkeit von der Temperatur an und bestimmen Sie ob Arbeit und Wärme jeweils positiv, negativ oder 0 sind. (**Hinweis:** Nehmen Sie an T_a, T_b, T_c und T_d seien bekannt. Rechnen Sie diese nicht explizit aus.)
 - Leiten Sie aus den in Aufgabenteil b) bestimmten Ausdrücken den Wirkungsgrad des idealisierten Ottomotors ab.
(Tipp: Bei einem adiabatischen Prozess von Zustand A zu Zustand B gilt:
 $T_A \cdot V_A^{\kappa-1} = T_B \cdot V_B^{\kappa-1}$)
 - Wie hoch ist der Wirkungsgrad, wenn das Gasgemisch um den Faktor Zehn komprimiert wird? Nehmen Sie für den Adiabatenkoeffizienten $\kappa = 1,4$ an.

6 Radioaktiver Zerfall (8P)

Die Halbwertszeit eines radioaktiven Isotops ^{210}Po beträgt 138 Tage. Bestimmen Sie den Geschwindigkeitskoeffizienten k und die Zeit, nach der die Menge von ^{210}Po um 10% gesunken ist.

7 Parallelreaktion (12P)

Der katalytische Zerfall von A läuft bei 600 K ab:



4,3 s nach dem Reaktionsstart wurden folgende Konzentrationen gemessen: $[\text{A}]=0.0274 \text{ mol/l}$; $[\text{B}]=0.0075 \text{ mol/l}$; $[\text{C}]=0.081 \text{ mol/l}$; $[\text{D}]=0.017 \text{ mol/l}$. Bestimmen Sie die Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten für alle Reaktionen. $[\text{B}]_0=[\text{C}]_0=[\text{D}]_0=0$.

8 Temperaturabhängigkeit (8P)

Für eine Reaktion erster Ordnung bei den Temperaturen 500 K, 633 K und 900 K sind die entsprechende Geschwindigkeitskoeffizienten $1,7 \text{ s}^{-1}$, $2,2 \text{ s}^{-1}$ und 4 s^{-1} . Bestimmen Sie die Aktivierungsenergie und den Präexponentialfaktor (nach Arrhenius) mit Hilfe einer linearen Regression.

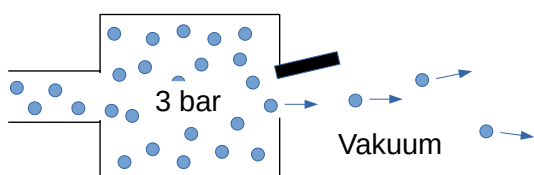
9 Stoßtheorie (10P)

Die Geschwindigkeitskonstante der bimolekularen Reaktion $2 \text{NO}_2 \xrightarrow{k} 2 \text{NO} + \text{O}_2$ beträgt $1.81 \cdot 10^3 \text{ cm}^3 \text{mol}^{-1} \text{s}^{-1}$ bei 627 K. Bestimmen Sie die Aktivierungsenergie und die minimale relative Geschwindigkeit, die für diese Reaktion ausreichend ist. Der NO_2 -Durchmesser wird als $3.55 \text{ \AA}$ angenommen. Verwenden Sie das Line-of-Centers-Modell. Beachten Sie die Einheiten.

10 Kinetische Gastheorie (12P)

Ein Piezoventil ist an ein Rohr mit einem konstanten Heliumdruck von 3 bar bei 300 K angeschlossen. Das Ventil öffnet für $200 \mu\text{s}$. Der Durchmesser der kreisförmigen Öffnung beträgt 1 mm. Wie viele Heliumatome gehen ins Vakuum?

Hilfestellung: Sie können die 1D-Maxwell-Boltzmann-Verteilung und die mittlere positive Geschwindigkeit $\langle v_x \rangle_+$ verwenden.



$$f(v_x) = \left(\frac{M}{2\pi RT} \right)^{\frac{1}{2}} \exp \left(-\frac{Mv_x^2}{2RT} \right)$$

$$\int_0^\infty e^{-x} dx = 1$$